Das Röntgenbremsspektrum massiver Antikathoden in verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen

(Auszug)

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität
zu Würzburg

vorgelegt von
Diplom-Physiker
Erich Röß
aus Würzburg

Referent: Prof. Dr. H. Kulenkampff

Tag der mündl. Prüfung:
24. Juli 1956

Würzburg 1956

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

HANDELSDRUCKEREI

Einleitung

Die Röntgenbremsspektren dünner Antikathoden zeigen eine starke Abhängigkeit von der Ausstrahlungsrichtung. Dabei tritt nach der Theorie von A. Sommerfeld (Ann. Phys. **11**, 257, 1931) bei Röhrenspannungen von 30—40 kV ein Intensitätsminimum in Vorwärtsrichtung und ein Maximum in einer Beobachtungsrichtung von etwa 50° auf. Dies wurde durch Messungen von R. Kerscher und H. Kulenkampff (Z. Phys. **140**, 632, 1955) bestätigt.

Das Spektrum einer massiven Antikathode ist nun aus den Einzelspektren sehr vieler dünner Antikathoden zusammengesetzt. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Elektronen in der Antikathode Richtungsänderungen und Energieverluste erleiden, so daß schon in geringer Eindringtiefe ein völlig anderer Anfangszustand herrscht als bei der normalen dünnen Antikathode. Aus diesem Grunde ist zu erwarten, daß die bei dieser beobachtete Richtungsverteilung bei der massiven Antikathode mehr oder weniger stark verschmiert wird, wobei der Grad der Verschmierung von der Ordnungszahl des Antikathodenelements und der Röhrenspannung abhängt.

In früheren Arbeiten über das Röntgenbremsspektrum war vorwiegend unter 90° gegen den Kathodenstrahl beobachtet worden. Genaue Messungen unter Berücksichtigung aller störenden Einflüsse bestehen überhaupt nur in dieser Richtung für Spannungen von 20—40 kV. Sie wurden von Fuchs und Kulenkampff durchgeführt (Z. Phys. **137**, 583, 1955 und Dissertation, Würzburg, 1955). Bei vorbereitenden Messungen in Vorwärtsrichtung (Diplomarbeit E. Röß, 1955) im gleichen Spannungsbereich stellte sich heraus, daß das Minimum nur bei Elementen niedriger Ordnungszahl in der Nähe der Grenzfrequenz zu bemerken ist.

Deshalb war es die Aufgabe der vorliegenden Arbeit, erstens das 90°-Spektrum auch für leichte Elemente zu untersuchen und zweitens in einer weiteren Beobachtungsrichtung gleiche Messungen durchzuführen, um zusätzliche Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen. Wegen der anfangs erwähnten Beobachtung an dünnen Antikathoden erschienen dafür 50° am interessantesten zu sein.

Meßmethode und Messungen

Die Apparatur bestand wie bei Fuchs und Kulenkampff aus einer Metallröntgenröhre und einem Kristallspektrometer mit Ionisationskammer und Elektrometer. Um klare Verhältnisse wegen der Rückdiffusion zu schaffen, stand die Antikathode in einem feldfreien Raum. Sie war von einem isolierten Al-Zylinder umgeben, der zum Auffangen der Rückdiffusions- und Sekundärelektronen diente. Zylinder- und Antikathodenstrom gaben zusammen den Gesamtstrom, auf den die Messungen bezogen sind. Zum Austritt der Röntgenstrahlen in die jeweilige Beobachtungsrichtung besaß die Röhre einen schmalen Spalt. Dieser war mit einer dünnen Al-Folie luftdicht verschlossen. Beim Übergang zu einer neuen Beobachtungsrichtung wurde dieser Spalt zugelötet und, nachdem die ganze Röhre um einen entsprechenden Winkel gedreht worden war, ein neuer Spalt angebracht.

Als Antikathodenmaterial fanden Be, C, Al, Cu und W Verwendung, letzteres allerdings nur zum Vergleich mit früheren 90°-Messungen. Da die Röntgenstrahlen wegen der Absorption in der Antikathode nicht unter einem zu flachen Winkel aus der Antikathode austreten sollten, mußte bei den 50°-Messungen durch die Antikathode hindurch beobachtet werden. Dazu wurden dünne Scheiben von dem jeweiligen Material auf einen wassergekühlten Kupferblock geschraubt. Zum Durchtritt der Röntgenstrahlen war dieser mit einer entsprechenden Öffnung versehen. Für die Cu-Messungen wurde auf eine Scheibe gepreßten Kohlenstoffs eine zwar dünne, aber als massiv in unserem Sinne anzusehende Cu-Schicht im Hochvakuum aufgedampft.

Unter 90° wurden die Spektren von C und Be, jeweils bei 30 und 40 kV, gemessen. Ferner wurde die Übereinstimmung mit den Messungen von Fuchs an Hand der 40-kV-Spektren von Al und Cu überprüft und schließlich auch noch ein Vergleich mit den früheren Ergebnissen an W von Fuchs und Kulenkampff durchgeführt. Die 50°-Messungen erstreckten sich auf Be, C, Al und Cu, wieder bei 30 und 40 kV.

Auswertung

Um die wahre Intensitätsverteilung zu ermitteln, mußten an den Meßwerten zahlreiche Korrektionen angebracht werden, und zwar wegen der Absorption in der Antikathode und im Strahlengang bis zum Eintritt in die Ionisationskammer, wegen der endlichen Kammerlänge und wegen des Reflexionsvermögens des Spektrometerkristalls. Schließlich sollten durch Berücksichtigung der Rückdiffusion noch die „idealen Spektren“ gefunden

werden, die weitgehend von den speziellen Apparatureinflüssen unabhängig sind.

Von den Meßwerten waren zuerst die Intensitäten abzuziehen, die durch die Reflexion höherer Ordnung am Kristall sich dem eigentlichen Spektrum überlagerten. Da früher benutzte Werte nicht zu einem befriedigenden Ergebnis führten, wurde eine neue Methode zur Ermittlung des Reflexionsvermögens höherer Ordnung entwickelt und dadurch festgestellt, daß dieses etwa doppelt so groß ist wie bisher angenommen worden war. Die Methode beruht darauf, daß durch eine starke Filterung die Intensität 1. Ordnung unterdrückt wird und nur die höherer Ordnung zur Messung gelangt.

Der in der Antikathode absorbierte Bruchteil wurde für Cu nach dem Verfahren von Webster und Hennings (Phys. Rev. **21**, 301, 1923) aus dem K-Sprung ermittelt. Daraus konnte auch die Korrektion für Al mit genügender Genauigkeit berechnet werden. Für Be und C fiel sie bei den 90°-Messungen nicht ins Gewicht, während unter 50° die gesamte Schichtdicke als Absorptionsdicke in Ansatz gebracht werden konnte. Leicht zu berechnen war die Absorption im übrigen Strahlengang sowie die Reduktion auf unendliche Kammerlänge. Das Reflexionsvermögen des verwendeten Kalkspatkristalls in seiner Abhängigkeit von der Wellenlänge ist aus einer Diplom-Arbeit von Hildenbrand (unveröffentlicht) bekannt.

Die Berücksichtigung der Rückdiffusion gelang mit Hilfe der von Kulenkampff und Spyra (Z. Phys. **137**, 416, 1954) gemessenen Energieverteilung der rückdiffundierenden Elektronen. Dabei wurde ein Iterationsverfahren angewandt, das schon mit der 2. Näherung eine genügende Genauigkeit ergab.

Ergebnisse

Die unter 90° gefundenen Spektren fügen sich gut in die früheren Ergebnisse von Fuchs ein, wenn man bei diesen das geänderte Reflexionsvermögen höherer Ordnung berücksichtigt. Trägt man die Intensität gegen die Frequenz auf, so zeigen sämtliche Kurven, einschließlich derjenigen von Fuchs, bis auf die annähernd geradlinige Wolfram-Kurve, eine gegen die Abszisse konvexe Krümmung, die im Bereich mittlerer und hoher Frequenzen mit zunehmender Ordnungszahl Z abnimmt. Nach kleinen Frequenzen hin steigt besonders das Cu-Spektrum steil an. Im ganzen Beobachtungsgebiet nimmt die Intensität schneller als proportional Z zu.

Das läßt sich dadurch erklären, daß nach neuen Messungen von Amrehn (Z. Phys. **140**, 642, 1955) die Intensität der dünnen Antikathode schneller ansteigt als mit Z^2, daß eine genaue Auswertung der theoretischen

Formel für den Energieverlust der Elektronen eine Abänderung des Thomson-Whiddingtonschen Gesetzes verlangt und daß schließlich auch noch der Einfluß der Diffusion berücksichtigt werden muß.

Ein Vergleich der Spektren unter 90^0, 50^0 und 4^0 gibt einen Überblick über die Richtungsverteilung der Röntgenbremsstrahlung. Zieht man dazu die drei Elemente Be, Al und Cu heran, so zeigt sich, daß bei ihnen nahe der Grenzfrequenz das bei der dünnen Antikathode gefundene Minimum in Vorwärtsrichtung und das Maximum unter 50^0 vorhanden ist. Dabei füllt sich das Minimum mit zunehmender Ordnungszahl rasch auf. So liegt die 4^0-Intensität von Be und auch noch von Al unter der 90^0-Intensität, während sie bei Cu schon größer ist als diese. Mit zunehmender Wellenlänge, bzw. abnehmender Frequenz, werden die Richtungsunterschiede geringer. Vor allem die 4^0-Intensität nimmt stark zu und erreicht bei allen drei Elementen noch im Beobachtungsgebiet die 50^0-Intensität. Dagegen nähern sich die 90^0-Kurven nur ganz allmählich den 50^0-Kurven und erreichen sie nicht.

Die 30-kV-Spektren zeigen im wesentlichen dieselben Ergebnisse wie die 40-kV-Spektren, nur mit dem Unterschied, daß die Verschmierung der Richtungsverteilung durch die Diffusion schneller erfolgt.

Die rasche Auffüllung des Minimums mit zunehmender Ordnungszahl hat zwei Ursachen. Erstens nimmt der Einfluß der Diffusion zu mit Z, und zweitens ist nach einer Arbeit von Scheer und Zeitler (Z. Phys. **140**, 642, 1955) auch schon für die dünne Antikathode eine Zunahme der Intensität in Vorwärtsrichtung mit zunehmender Ordnungszahl zu erwarten.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543516_0178